

Kinematic GPS를 이용한 초고층건물의 거동 분석

Behavior Analysis of a High Rise Building Using Kinematic GPS

손홍규¹⁾, 박효선²⁾, 최종현³⁾, 김중경⁴⁾

Sohn, Hong-Gyoo · Park, Hyo-Sun · Choi, Jong-Hyun · Kim, Jung-Kyoung

要 旨

인공위성을 이용한 위치결정시스템인 GPS(Global Positioning System)는 mm 단위의 정밀도로 정적, 동적 위치관측이 가능한 시스템으로 현재 여러 분야에서 활용이 증가하고 있다. 특히 교량, 댐 등 안전이 요구되는 사회기반 시설물의 동적 거동을 기록하고 감시하는데 있어서 GPS가 새로운 관측시스템으로 주목받고 있으며 이를 실용화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 GPS를 이용하여 건물의 거동상태를 점검 하는 것을 목적으로 하고 있다. 초고층건물의 거동을 해석하기 위하여 건물 옥상에 GPS, 가속도계, 풍향계, 풍속계를 설치하였다. GPS와 가속도계를 이용하여 건물의 변위 및 가속도를 5Hz로 관측하였다. GPS를 이용한 변위관측은 1시간, 1분, 1초 등의 간격으로 3차원 변위를 계산하였으며, 계산된 3차원 변위를 가속도계, 풍속계, 풍향계와 연계하여 해석하였다. 대상 건물에 대한 최대 변위를 관측한 결과 시공 단계에 따라 큰 차이를 보였으며 건물의 안정성을 평가할 수 있는 최소인 건물의 고유 진동수의 경우 약 0.2Hz의 값을 얻을 수 있었다. 향후 모든 센서들을 통합하여 실시간으로 건물을 모니터링할 수 있는 시스템을 개발할 경우 건물의 안정성 해석 및 유지보수에 본 연구가 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서 론

정밀한 위치를 결정하기 위하여 미국에서 제작한 인공위성을 이용한 범지구 위치결정시스템인 GPS(Global Positioning System)는 초기에는 군사적인 목적으로 이용되었지만, 지금은 자동차, 비행기, 선박 등의 항법은 물론 측지 및 측량분야, 지각 및 구조물의 변위 감시, 우주, 통신, 국방 분야 등 매우 광범위한 분야에 활용되고 있으며, 그 이용도가 급속히 증가하는 추세에 있다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾ 특히, SA의 해제 이후, GPS를 이용하여 수 mm의 정밀도로 위치 및 변위 측정이 가능하므로 지각, 단층 등의 자연물은 물론 가스시설, 교량, 건축물, 댐 등 각종

1 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수 · e-mail: sohn1@yonsei.ac.kr

2 연세대학교 건축·도시공학부 조교수 · e-mail: hspark@yonsei.ac.kr

3 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정 · e-mail: jonghyun@yonsei.ac.kr

4 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정 · e-mail: eng2007@yonsei.ac.kr

구조물의 미세 변위를 관측 및 감시하여 재해를 사전에 예방하고자 하는 방재분야에서의 응용이 국내외적으로 큰 주목을 받고 있다.²⁾³⁾⁴⁾ Kinematic GPS 측량의 경우, 한점 고정에 의한 상대위치관측방식으로 높은 정밀도의 측정을 수 초 안에 신속히 수행할 수 있기 때문에 고층건물이나 교량 등 대형건물의 거동을 모니터링 하는 데 유용한 기법으로 대두되고 있다.²⁾ 본 연구에서는 GPS와 가속도계를 사용하여 초고층건물의 변위와 가속도를 관측하고, 이를 풍향계 및 풍속계와 연계하여 해석하였고, 초고층건물의 안정성을 평가하는 데 효과적으로 적용될 수 있는 가능성을 고찰해 보았다.

2. 실험방법

본 연구에서 실험한 대상건물은 현재 시공 중인 건물로 지상 70층의 초고층빌딩이다. DGPS기법을 적용하기 위하여, 기지국은 그림 1과 같이 대상건물에서 약 600m 정도 떨어진 5층 건물의 옥상에 설치하였고, 이동국은 대상건물 옥상 모서리 부분에 설치하였다. 건물의 가속도와 실험 당시의 풍향과 풍속의 조건을 알기 위하여, 가속도계와 풍향계는 이동국 안테나 주위에 설치하였다. 이동국의 경우, 건물의 움직임과 별도로 바람의 영향에 의한 거동을 줄이기 위하여 건물과 동일하게 거동할 수 있도록 그림 2와 같이 건물옥상에 보조 장치를 설치하여 옥상에 안테나를 고정시켰다.

본 연구에서는 사용한 장비는 Trimble사의 Trimble4700 2대를 사용하였으며, 자료의 취득은 5Hz의 Synchronize Rate로 연속적으로 관측하였다.

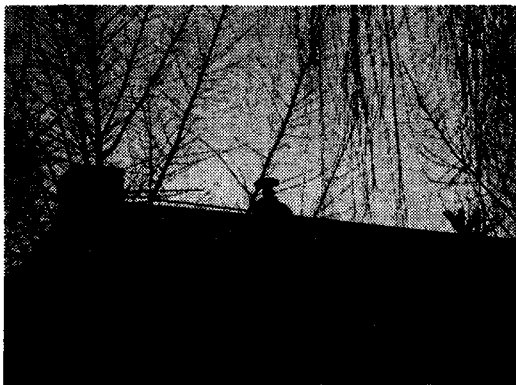


그림 1. 기지국의 GPS 안테나 설치모습

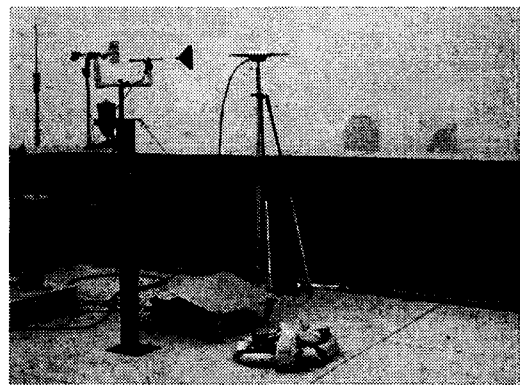


그림 2. 이동국의 GPS 안테나 설치모습

2.1 GPS 검증

5Hz의 Synchronize Rate로 연속적으로 관측하였을 경우의 하드웨어의 정밀도를 분석하기 위하여, 기선의 길이가 60m인 동적인 변화가 없는 지점에 실험에 사용할 동일한 장비를 설치하여 관측하였다. 그림 3과 그림 4는 각각 시간에 따른 빌딩의 X축과 Y축의 변위량이다. 실험장소는 동적인 변화가 거의 없기 때문에, 이때 발생한 변위를 GPS 수신기 자체의 오차라 생각하고, 각각의 축의 변위량을 시간에 대해 2차 미분하여 가속도를 구하고, 이를 그림 5와 그림 6과 같이 다시 스펙트럼으로 표현하여 GPS 수신기의 자체 오차량을 나타내었다.

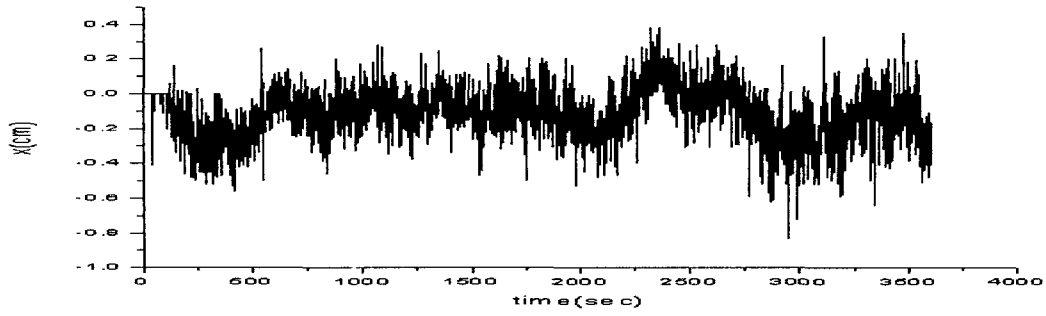


그림 3. 이동국에서 측정된 X축의 변위량

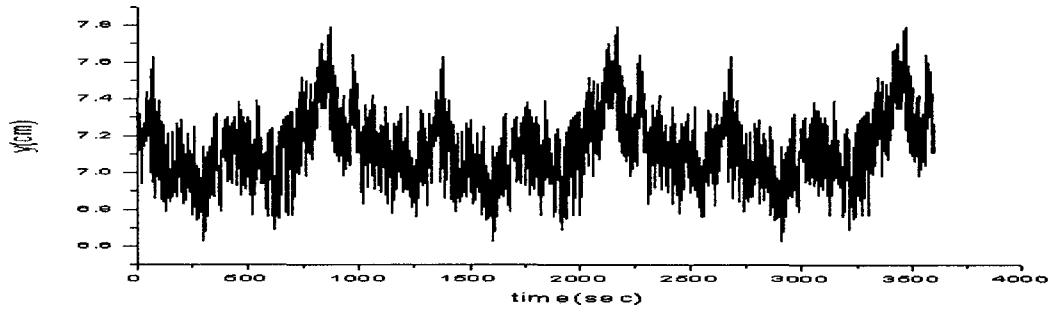


그림 4. 이동국에서 측정된 Y축의 변위량

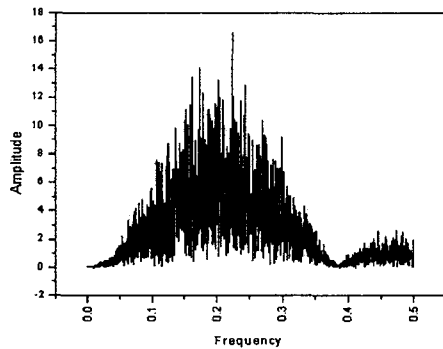


그림 5. X축에 대한 GPS 수신기 오차

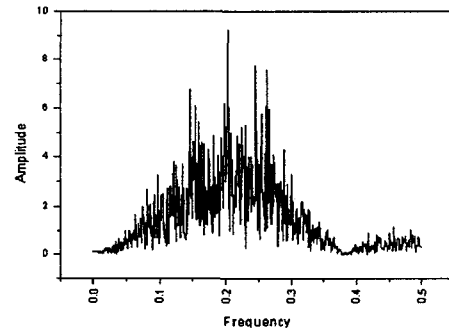


그림 6. Y축에 대한 GPS 수신기 오차

2.2 GPS 측량

첫 번째 관측은 2001년 10월22일에 하였으며, 두 번째 관측은 2002년 1월22일에 하였다. 기지국과 이동국 모두 Trimble사에서 제공한 소프트웨어를 사용하여 관측 자료를 5Hz의 Synchronize Rate로 연속적으로 관측하였으며, 그림 7과 그림 8에서 보는 바와 같이 수신기

에서 받은 자료들은 컴퓨터로 연결되어 컴퓨터에 저장하였다.

자료처리는 Trimble Geomatics Office 소프트웨어를 이용하여 1초 간격으로 처리하였다.

자료처리를 위하여 그림9와 같이 빌딩 옥상에 국지좌표계를 설정하였고, 관측값들은 WGS84 좌표계로 표현되므로 7 매개변수 변환법을 이용하여 관측값들을 국지좌표로 변환하였다.

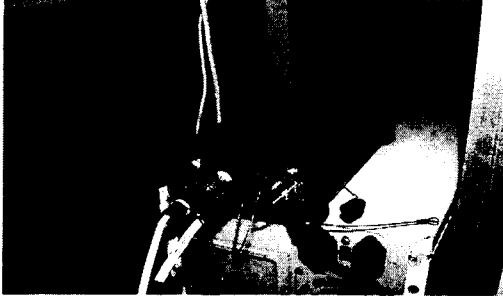


그림 7. 이동국의 수신기와 컴퓨터 연결모습



그림 8. 기지국의 수신기와 컴퓨터 연결모습

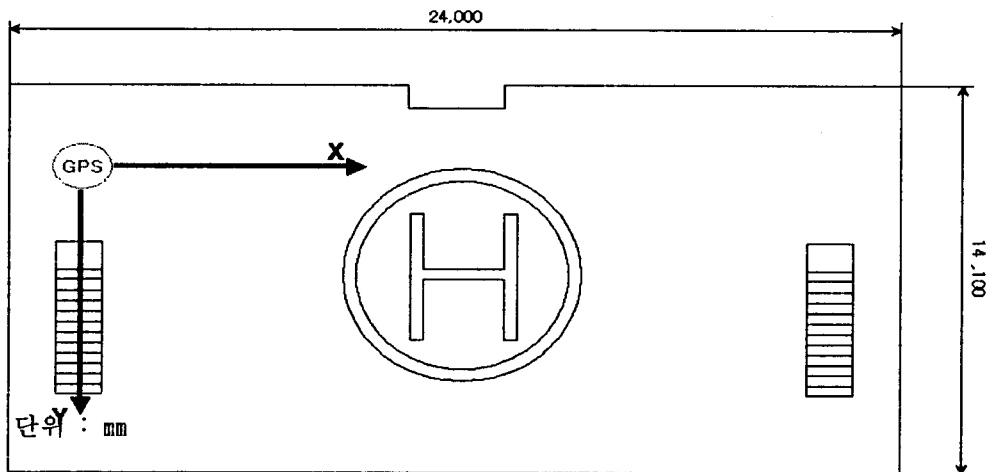


그림 9. 국지좌표계

3. 결과 및 분석

시공단계에 따라 빌딩 거동의 변화를 관측하기 위해 본 연구에서는 빌딩의 거동을 제어하는 장치를 설치하기 전 2001년 10월 22일부터 10월 25일 오전 7시까지 관측한 자료와 제어 장치의 시공이 완료된 후 2002년 1월 22일부터 1월 26일 오전 7시까지 관측한 자료를 비교해 보았다. 자료의 분석은 1시간 간격으로 static방식을 이용하였다. 해석 결과 그림 10과 그림 11에서 보듯이 제어장치를 설치한 후 빌딩의 변위량이 눈에 띄게 줄어들었다는 것을 알 수 있다.

빌딩의 이동국에서 관측한 자료 중에서 풍속이 14%로 강한 2002년 1월 23일 오전 2시-

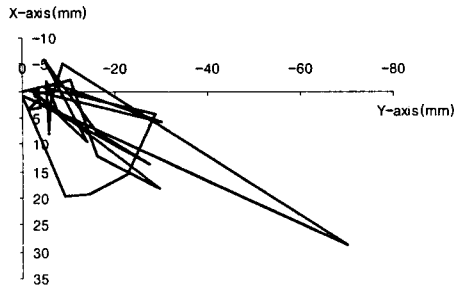


그림 10. 2001년 10월 22일부터 10월 25일까지의 거동

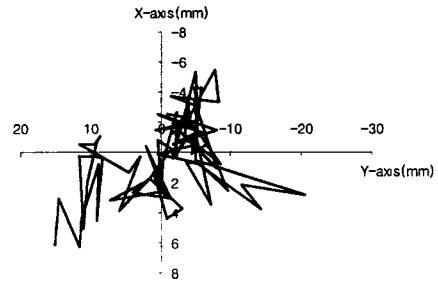


그림 11. 2002년 1월 22일부터 1월 26일까지의 거동

3시까지의 자료를 선택, 동일시간대의 가속도계를 이용하여 얻은 자료와 비교하여 빌딩의 고유주파수를 계산해 보았다. 그림 12와 그림 13은 오전 2시-3시 사이의 빌딩의 거동을 나타내고 있다. 각각의 X축과 Y축의 변위량을 시간에 대해 2차 미분을 하여 빌딩의 1초당 가속도의 변위량을 계산하고, 이를 그림 14와 그림 15같이 주파수영역으로 변환하여, GPS 수신기 오차를 제거하고, 빌딩의 각각의 X축과 Y축의 고유주파수를 계산하면 그림 16, 그림 17과 같이 X축은 0.21Hz Y축은 0.22Hz의 값을 얻을 수 있었다.

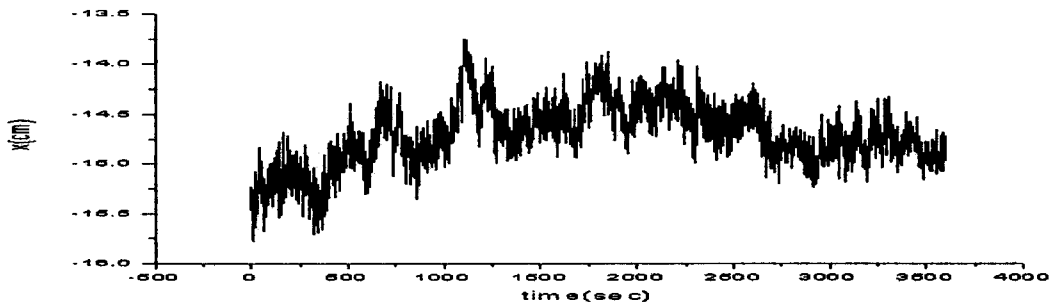


그림 12. 빌딩의 X축 방향으로의 거동

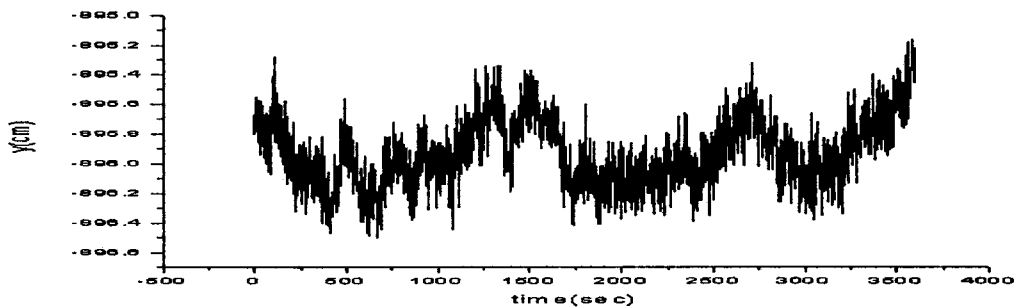


그림 13. 빌딩의 Y축 방향으로의 거동

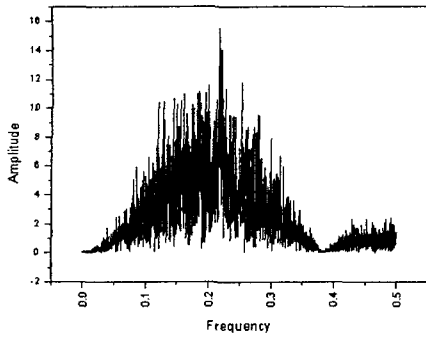


그림 14. 주파수 영역에서의 빌딩의 X축 방향의 가속도 변화

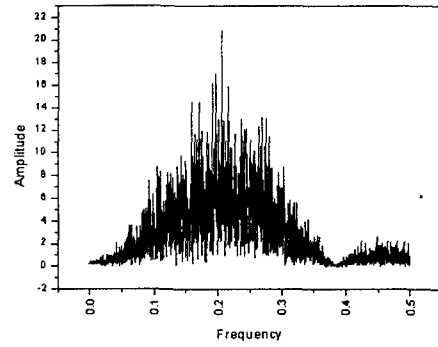


그림 15. 주파수 영역에서의 빌딩의 Y축 방향의 가속도 변화

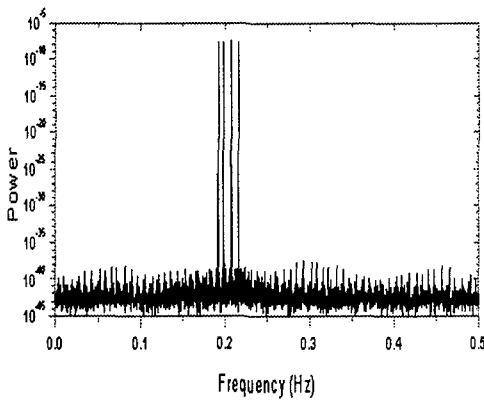


그림 16. GPS에 의해 관측된 X축 방향의 빌딩의 고유주파수

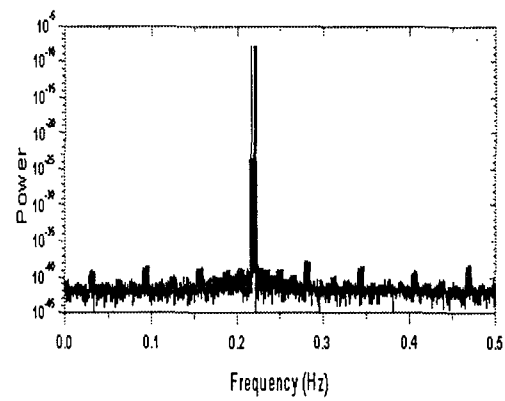


그림 17. GPS에 의해 관측된 Y축 방향의 빌딩의 고유주파수

또한 동일한 시간에 관측한 가속도계에서도 그림 18과 그림 19와 같이 0.2Hz의 동일한 값을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 수신기의 오차가 설치 장소나 주변상황에 관계없이 일정하다는 가정에 의해서 빌딩의 고유주파수를 GPS를 사용하여 관측할 수 있었다. GPS 수신기의 오차에 대한 정확한 값을 계산할 수 있다면, 향후 GPS에 의하여 실시간으로 교량,

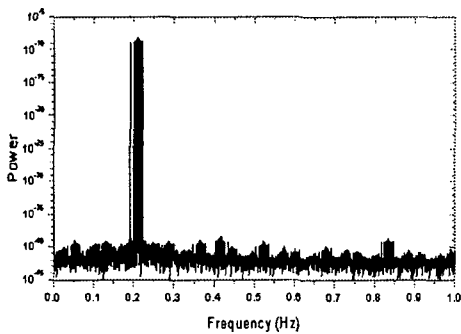


그림 18. 가속도계에 의해 관측된 X축 방향의 빌딩의 고유주파수

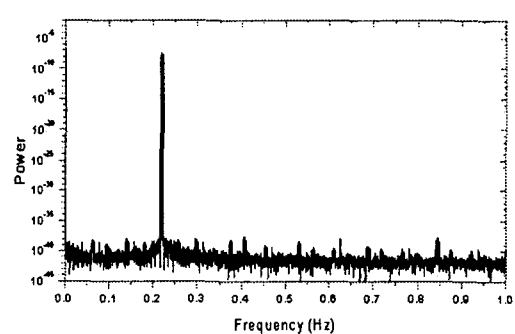


그림 19. 가속도계에 의해 관측된 Y축 방향의 빌딩의 고유주파수

초고층건물, 댐 등과 같은 대형건물의 정확한 거동을 모니터링 하는 것이 가능할 것이며, 이로 인하여, 대형구조물의 안정성 및 적절한 유지 보수 측면에서 경제적인 효과를 기대할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. 강준묵, 김홍진, 이형석, 1993, "Kinematic GPS에 의한 3차원 위치결정의 정확도 분석", 한국측지학회지, 제 11권 제 2호, pp.79-87.
2. 박필호, 박종욱, 조정호, 전경수, 조성호, 1996, "GPS의 변위 검출 능력에 대한 실험", 한국측지학회지, 제 17권 제 2호, pp.161-166.
3. 최병길, 김영곤, 정진우, 2000 "GPS의 OTF 측위기법에 의한 교량의 거동 측정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제18권 제 3 호, pp.271-278.
4. Nakamura, S.I. 2000, "GPS MEASUREMENT OF WIND-INDUCED SUSPENSION BRIDGE GIRDER DISPLACEMENTS", Journal of Structural Engineering, pp.1413-1419.
5. Lovse, J.W. W.F. Teskey, G. Lachapelle, and M.E. Cannon, 1995, "Dynamic Deformation Monitoring of Tall Structure Using GPS Technology", Journal of Surveying Engineering, Vol. 121, No.1. pp.35-40.